Preprocessing
Teil 2

Ein wenig Theorie der astronomischen Bildvorverarbeitung.

„Es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie.“
(D.Hilbert, I.Kant, K. Lewin)

kai@photonenfangen.de
www.photonenfangen.de

Preprocessing Teil 2

Teil 1:

1. Grundlagen:
    1. Median, arithmetischer Mittelwert
    2. Beschreibung des Digitalfotos.
2. Störungen im Bildsignal
    1. Übersicht
    2. Elektrische Störungen
    3. Störungen des optischen Pfades
    4. Umweltbedingte Störungen

Teil 2:

3. Kalibrierung
    1. Beschreibung
    2. Erstellung der Korrekturdaten
    3. Durchführung
    4. Kalibrierung ohne Darks
4. Integration
    1. SNR
    2. Beispiel

Bildvorverarbeitung (preprocessing): Alle Bearbeitungsschritte bis zur Erstellung des Summenbildes.

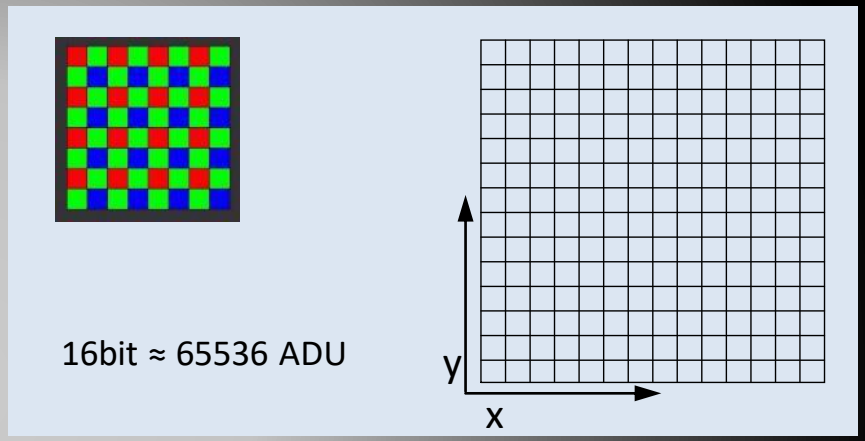
Integration: Berechnung des Summenbildes aus den Einzelbildern (frames).

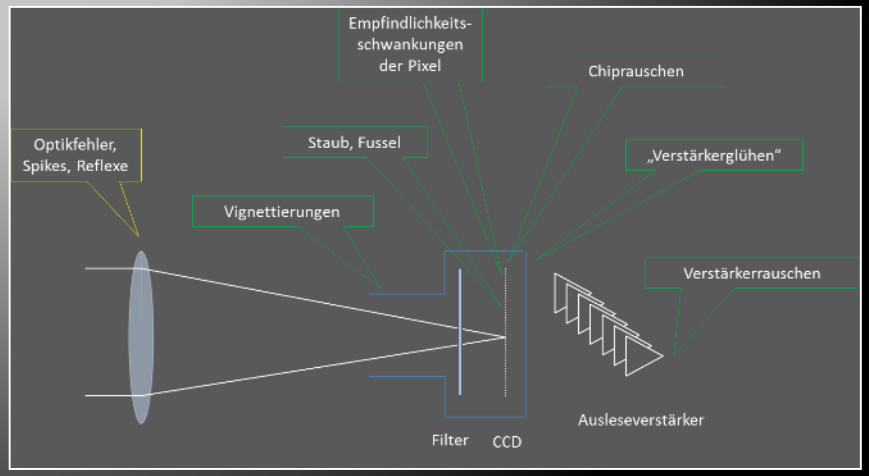
Bildbearbeitung (processing): Alle Bearbeitungsschritte am Summenbild.

Kalibrierung: Kalibrierung der Rohbilder im Rahmen der Bildvorverarbeitung. Zu unterscheiden: **Farbkalibrierung** eines Bildes im Rahmen der Bildbearbeitung.

Preprocessing Teil 2
Zusammenfassung Teil 1

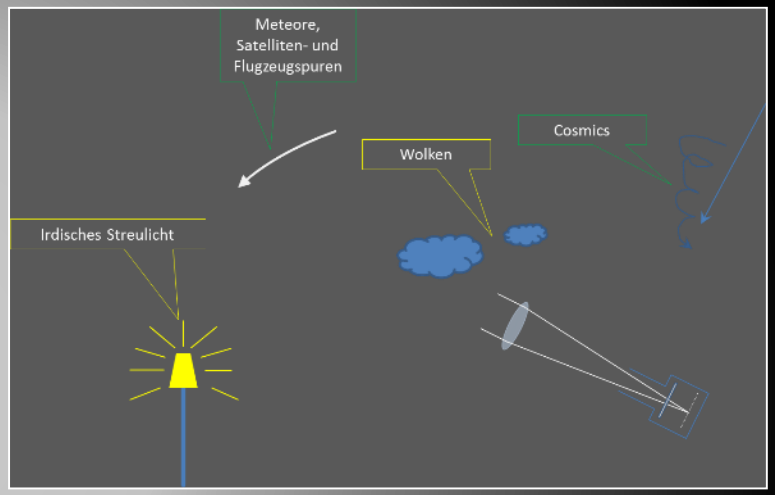
1. Grundlagen:
   - Median
   - arithmetischer Mittelwert
   - Beschreibung des Digitalfotos: Bild ist zusammengesetzt aus Pixeln: P_{xy}

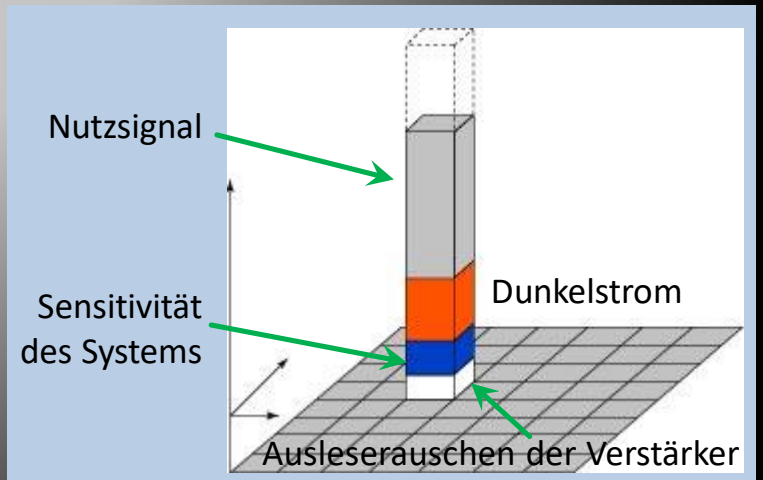




Preprocessing Teil 2
Zusammenfassung Teil 1

2. Störungen im Bildsignal
   - Elektrische Störungen: Dunkelstrom, Verstärkerrauchen , Verstärkerglühen, hot Pixel, warm Pixel, cold Pixel
   - Störungen des optischen Pfades
   - Umweltbedingte Störungen
   - Chiptemperatur 6-7°C Temperaturerhöhung: Verdopplung der Rauschamplitude.
   - Iso-Wert der DSLR





(www.astro-siggi.de/tutorial-ccd-technik.html)

2.4 Umweltbedingte Störungen

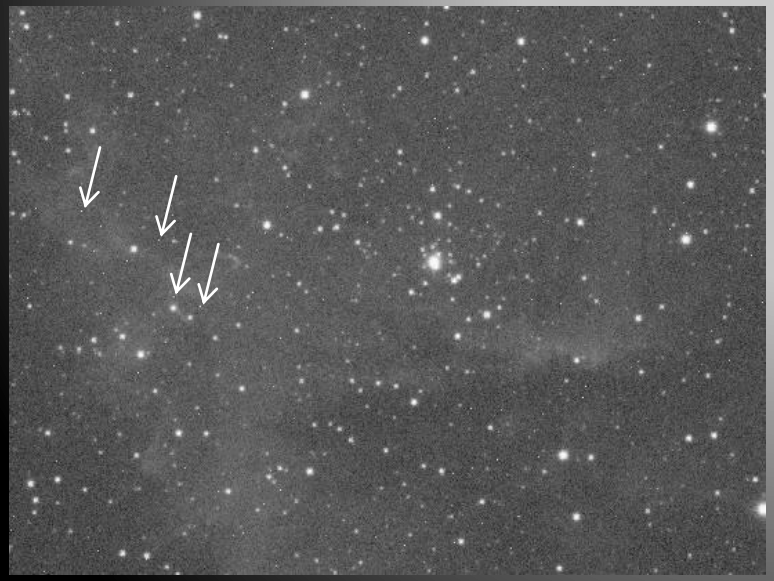
Video zur Demonstration von:

- Cosmics
- Meteorspur

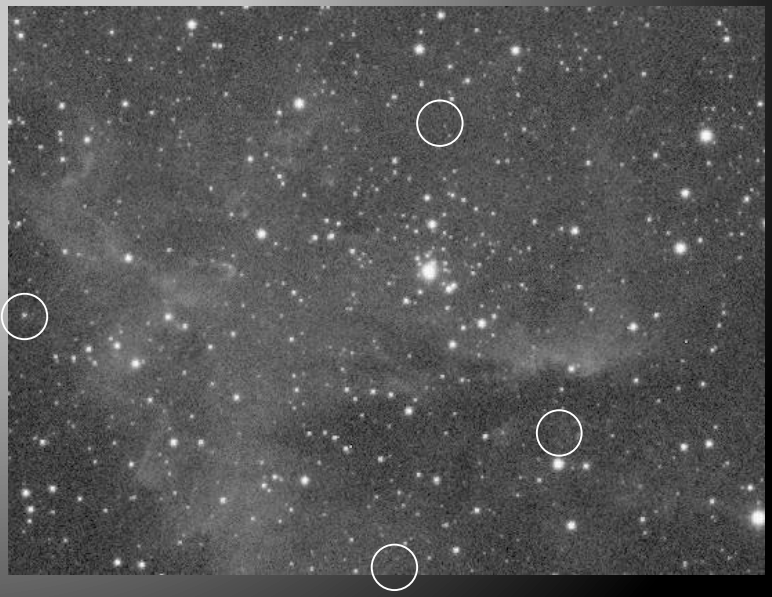
Beispiel NGC281:

- 13 x 20min SII
- 100mm f/4.1
- Atik 383+

unkalibrierte Lightframes, dithered



zusätzlich kalibriert und registriert



3. Kalibrierung
3.1 Beschreibung

Im störungsfreiem Fall besteht das Bild aus den Pixeln P_{xy}.

In der Realität hat das Licht jedoch das optische System hinter sich und entsprechende Veränderungen (z.B. Vignettierung) erfahren. Das lässt sich für jedes Pixel durch die Multiplikation mit einer Zahl F_{xy} beschreiben:

$$P'_{xy} = P_{xy}\, F_{xy}.$$

Man kann das als Variation der Lichtempfindlichkeit der einzelnen Pixel interpretieren.

Zu dem Bild P' wird während der Belichtung der Dunkelstrom Dund beim Auslesen das Ausleserauschen O addiert. Damit ergibt sich das ausgelesene Rohbild (raw) zu

$$R_{xy} = P'_{xy} + D_{xy} + O_{xy}.$$

Einsetzen des Terms für P'_{xy} liefert $R_{xy} = P_{xy}\, F_{xy} + D_{xy} + O_{xy}$. Damit kann man das störungsfreie Bild berechnen, wenn Dunkelstrom D, Ausleserauschen O und die optische systembedingte multiplikative Veränderung F für jedes Pixel bekannt sind:

$$P_{xy} = \frac{R_{xy} - D_{xy} - O_{xy}}{F_{xy}}$$

Durch pixelweise Subtraktion bzw. Division kann bei Kenntnis der Störungen das störungsfreie Bild berechnet werden.

3 Kalibrierung
3.2 Erstellung der Korrekturdaten

- Wesentlicher Faktor ist eine **möglichst gute Übereinstimmung der Chiptemperaturen** bei der eigentlichen Belichtung und beim Anfertigen der Darks und Offsets. Eine Übereinstimmung innerhalb eines Temperaturgrades ist anzustreben.
- Beim Flat ist die Chiptemperatur von geringerer Bedeutung. Hier ist eine **gleichmäßige Ausleuchtung und absolut unveränderter Lichtweg** (inkl. Fokus) wichtig.
- Sämtliche Aufnahmen sind in einem geeigneten **Raw-Format** zu speichern und zu verwenden (CR2, CRW, FITS, TIF). Nur dieses Format zeichnet die Sensordaten verlustfrei auf. Formate die auf verlustbehafteter Kompression beruhen sind ungeeignet (JPG).
- Das ggf. erforderliche Berechnen des Farbbildes („debayern“) stellt eine Interpolation dar. Daher ist **nach der Kalibrierung zu debayern.**

3.2 Erstellung der Korrekturdaten
3.2.1 Dark

Dark-Aufnahmen: D

- Ohne Lichteinfall
- Temperatur des Kamerachips gleicht der Temperatur des Chips bei der Aufnahme des Rohbildes.
- Binning, Verstärkung, Empfindlichkeit wie bei der Aufnahme des Rohbildes.
- „Belichtungszeit“ genau so lang wie das Rohbild.
- Geeignete Anzahl von Einzelaufnahmen.

Beispiel:
Dark-Aufnahmen im Kühlschrank.

Kalibrierung der Darks

Da auch die Darks den diskutierten elektrischen Störungen unterliegen, sind diese vor Verwendung ebenfalls zu durch Subtraktion des Offsets zu kalibrieren:

$$D'_{xy} = D_{xy} + O_{xy}.$$

Dazu können die Offsets der Hauptaufnahme verwendet werden.

3.2 Erstellung der Korrekturdaten
3.2.1 Masterdark

Alternative Master-Dark: $\boldsymbol{MD}$
Die „Belichtung“ erfolgt länger als das Rohbild mit der längsten Belichtung. Für die Verwendung wird das Rauschen auf die Belichtungszeit des Rohbildes herunterskaliert. Dazu wird der Ansatz verwendet, das der Dunkelstrom proportional zur Belichtungszeit ist.
Innerhalb vernünftiger Grenzen ist sogar eine Aufwärtsskalierung möglich.

Beispiel:
Masterdark mit 1000 sec „Belichtung“. Rohbild mit 400 sec Belichtung. Dann ist $D_{xy} = MD_{xy}\frac{400s}{1000s}$.

Kalibrierung des Masterdarks
Da auch die Darks den diskutierten elektrischen Störungen unterliegen, sind ist auch das Masterdark vor weiterer Verwendung ebenfalls zu durch Subtraktion des Offsets zu kalibrieren:

$$MD'_{xy} = MD_{xy} + O_{xy}.$$

Dazu können die Offsets der Hauptaufnahme verwendet werden.

Empfehlung:
Man mache sich klar, welche Definition des Masterdarks von der jeweils eingesetzten SW vorausgesetzt wird.

3.2 Erstellung der Korrekturdaten
2.2.2 Offset oder Bias

Offset- oder Bias-Aufnahmen: O

- Ohne Lichteinfall.
- Temperatur des Kamerachips gleicht der bei der Aufnahme des Rohbildes.
- Binning, Verstärkung, Empfindlichkeit wie bei der Aufnahme des Rohbildes.
- „Belichtungszeit“: Null oder so kurz wie möglich.
- Geeignete Anzahl von Einzelaufnahmen.

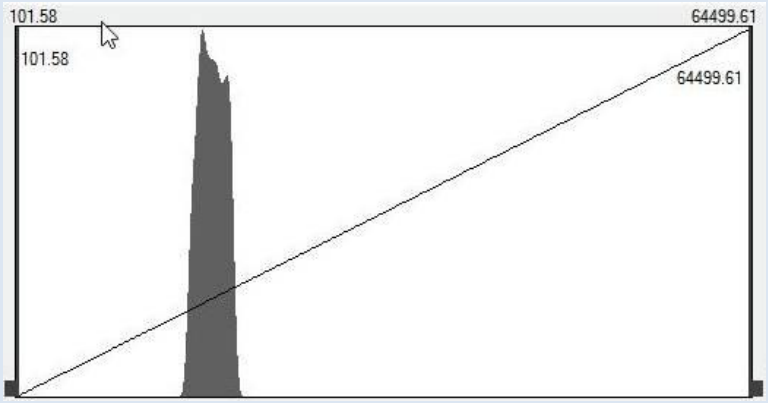
„geeignete Anzahl Einzelaufnahmen“

- Gilt gleichermaßen für Flat, Dark und Offset.
- Forderung: durch Kalibrierung soll kein zusätzliches Rauschen hinzugefügt werden.
- Annahme: das Rauschen in den Kalibrierframes ist ähnlich wie in den Lights.
- Empfehlung: mindestens so viele Kalibrierframes pro Satz wie Lightframes anfertigen.

3.2 Erstellung der Korrekturdaten
3.2.3 Flat

Flat- oder Hellbild-Aufnahmen: F

- Aufnahme einer absolut gleichmäßig hellen Fläche ("flat-field“):
  a) Flat-Field-Box
  b) Dämmerungsflats. Achtung: Versatz und geeignete Mittelung (z.B. Median) erforderlich!
- Temperatur, Empfindlichkeit und Belichtungszeit müssen nicht wie bei der Erstellung des Rohbildes sein.
- Belichtungszeit so gewählt, dass ungefähr 50% des maximalen ADU-Werte erreicht werden.
- Fokus und Binning wie bei der Erstellung des Rohbildes.
- Geeignete Anzahl von Einzelaufnahmen.



Beispiel:

Histogramm eines Flats. Atik 383, 6sec, H-alpha.

Kalibrierung der Flats

Da auch die Flats den diskutierten elektrischen Störungen unterliegen, sind diese vor Verwendung ebenfalls zu durch Subtraktion von Offset und Dark zu kalibrieren:

$$F'_{xy} = F_{xy} + D_{xy} + O_{xy}.$$

Dazu können die Offsets und skalierten Darks der Hauptaufnahme verwendet werden.

3. Kalibrierung
3.3 Durchführung der Kalibrierung

Mittelung der Korrekturdaten
Für alle drei Korrekturaufnahmen (Dark, Bias, Offset) ist über eine geeignete Anzahl von Einzelaufnahmen zu mitteln. Für die Mittelung gelten die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie später im Kapitel Integration diskutiert.

Die eigentliche Kalibrierung für jedes Rohbild:

1. Offset pixelweise subtrahieren
2. Dark pixelweise subtrahieren
3. Flat pixelweise dividieren
4. ggf. debayern

Die Schritte 1. und 2. dürfen vertauscht werden. Der 2. Schritt kann unter bestimmten Umständen weggelassen werden (s.u.). Nach dem 4. Schritt sind die Rohbilder bereit zur Integration.

„geeignete Anzahl Einzelaufnahmen“

- Gilt gleichermaßen für Flat, Dark und Offset.
- Forderung: durch Kalibrierung soll kein zusätzliches Rauschen hinzugefügt werden.
- Annahme: das Rauschen in den Kalibrierframes ist ähnlich wie in den Lights.
- Empfehlung: mindestens so viele Kalibrierframes pro Satz wie Rohbilder anfertigen.
- Der Autor verwendet die Ergebnisse aus Sätzen von jeweils 25 Einzelaufnahmen mit gutem Erfolg.

3. Kalibrierung
3.4 Variationen ohne Darks

Entfall der Darks:

1. Möglich in Verbindung mit Dithering.
2. Dunkelstrom wird nicht korrigiert. Anwendung also nur wenn Dunkelstrom des Chips gering und „gutmütiges“ Verhalten.
3. Warm, hot and cold pixel müssen über geeignete Mittelungsverfahren unterdrückt werden.

In der Praxis führt dieses Verfahren zu guten Ergebnissen. Gründe / Voraussetzungen:

1. Einsatz eines modernen rauscharmen Chips ohne Verstärkerglühen.
2. Insbesondere bei DSLR „passen“ Darks und wegen fehlender Temperaturregelung ohnehin nur eingeschränkt zu den Rohbildern.

Der Autor verwendet eine EOS 5Da MKII bei ISO 800 in dieser Weise mit zufriedenstellenden Ergebnissen.

Aufnahme mit „interner Rauschunterdrückung bei Langzeitbelichtung“ (DSLR)

Hierbei wird direkt nach der Belichtung eine Dunkelaufnahme mit gleicher Belichtungszeit aufgenommen und intern subtrahiert. Es handelt sich damit um Abzug von Dark und Offset.

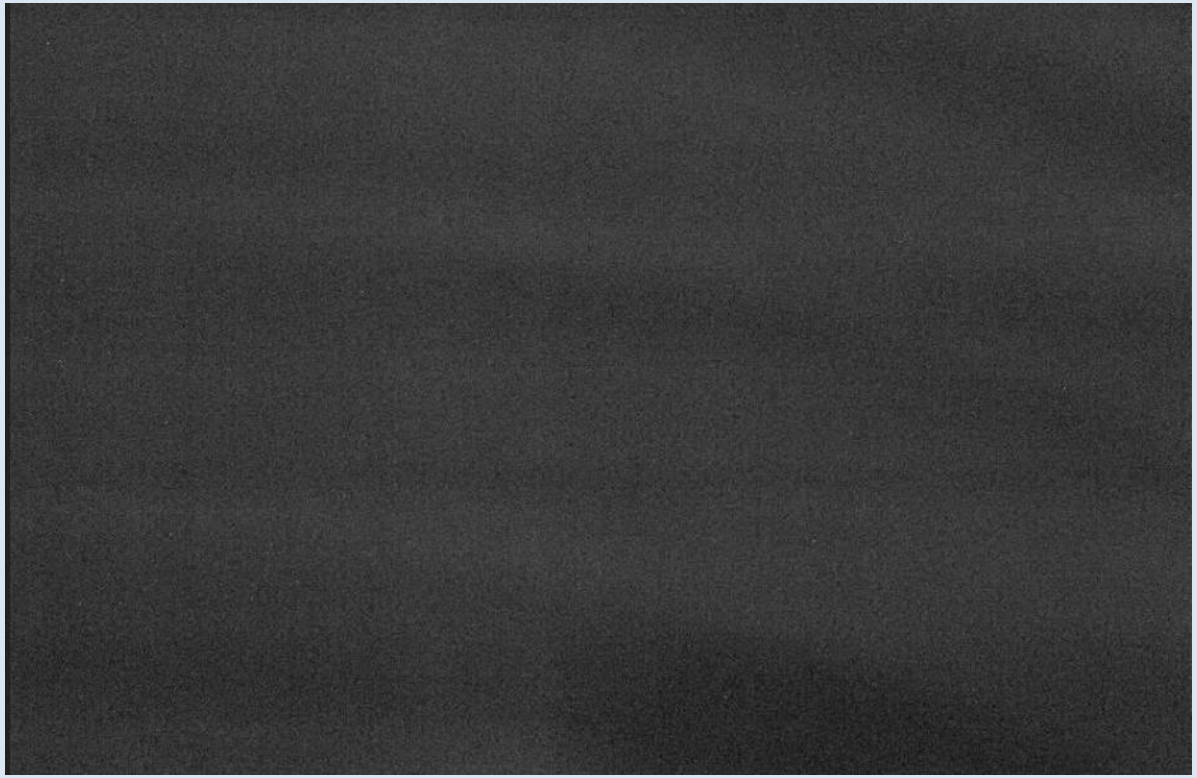
Nachteil: Hälfte der Beobachtungszeit ungenutzt.
Vorteil: Dark und Offset bei nahezu identischer Temperatur wie Rohbild aufgenommen.

Information in einem Dark

- Rauschen in Folge des Dunkelstroms
- warm, hot and cold pixel
- u.U. Verstärkerglühen

3.4 Variationen ohne Darks
Grenzen des Verfahrens

Meist zeigen stark gestreckte Darks Strukturen vergleichbar zum Beispiel rechts. Sie sind u.U. auch im fertigen Bild erkennbar.
Um diese per Dithering zu unterdrücken, müsste in einem Maß „ge-dithered“ werden, welches mit der Größe der Strukturen vergleichbar ist.



Beispiel:
Gestecktes Dark EOS 500D, 12x10 min, ISO400, 26°C.
(www.distant-lights.at/tipps_kalibrierung.htm)

3.4 Variationen ohne Darks
Beispiel: Nebelgebiete im Cepheus / Schwan

Emissionnebel um den offenen Sternhaufen IC1396 ("Cepheus Bubble„) mit IC1396A („Elefantenrüsselnebel“). In der rechten oberen Bildhälfte befindet sich Sh2-129 oder der "Flying Bat Nebula“. Zwischen Sh2-129 und IC1396 : VdB140 . Ausgedehnte Dunkelwolken (dominierend B169,170 und 171).

Aufnahme angefertigt am 08.05.2016, EOS 5Da MkII, Objektiv EF-L 200mm f/2,8 abgeblendet auf f/4,0, CLS-Clipfilter. 31x4min bei 800ASA.

Dithering auf Vixen GP-D2 mit Eigenbau-Motorsteuerung und Lacerta M-GEN mit 100mm f/2,8.

Keine Darks. Kalibrierung nur mit Offset- und Flatframes. Nach Stacking wurde noch im linearen Bereich die Farbe kalibriert und sorgfältig das Rauschen reduziert.

Nach einen ersten vorsichtigem Strecken wurden die Nebelgebiete mittels eines Verfahrens von G. Wechselberger weiter gestreckt. Unter dem Einsatz von verschiedenen Masken wurde die Sättigung angepasst um, die HII-Regionen deutlicher hervorzuheben. Abschluss in Photoshop.

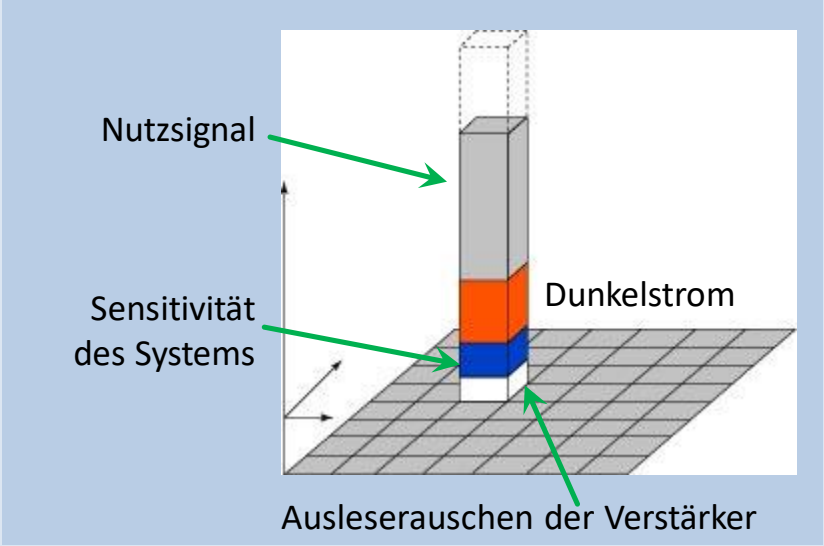
4. Integration
4.1 Nutzsignal und Störsignal

Das kalibrierte Rohbild ist das eigentliche Foto des Objektes einschließlich aller sichtbaren Effekte. Es enthält:

- das Objekt
- Himmelshintergrund
- Zodiakallicht
- Irdisches Streulicht
- verbleibende Störanteile

Das Nutzsignal S_{xy} wird dabei im Wesentlichen durch das eigentliche Objekt erzeugt, es enthält aber auch Effekte wie den Himmelhintergrund, irdisches Streulicht, Zodiakallicht und ggf. weitere .

Die Störsignale (Sensitivität, Dunkelstrom, Rauschen) wurden durch Kalibration entfernt oder minimiert. Trotzdem bleibt ein Störanteil übrig. Dieser wird durch N_{xy} zusammengefasst.



Fehler im Auslesewert eines Pixels
(www.astro-siggi.de/tutorial-ccd-technik.html)

Achtung:
Obwohl die Rohbilder bereits durch Kalibration von Störungen befreit wurden, enthalten sie noch Störanteile unterschiedlicher Herkunft. Auf diese Anteile bezieht sich jetzt der Begriff Störsignal ab jetzt.

4. Integration
4.1 Signal to Noise Ratio

Im eigentlichen Sinne besteht das Ziel darin, durch geeignete Verarbeitung das Nutzsignal S_{xy} möglichst stark im Vergleich zum Störsignal N_{xy} werden zu lassen. Es ist also das Signal zu Stör-Verhältnis (SNR) $\frac{S_{xy}}{N_{xy}}$ zu maximieren.

Die Störanteile mit stochastischer Verteilung lassen sich durch Mittelung weiter reduzieren. Darunter fallen Störungen aus dem Umfeld Dunkelstrom und Ausleserauschen.

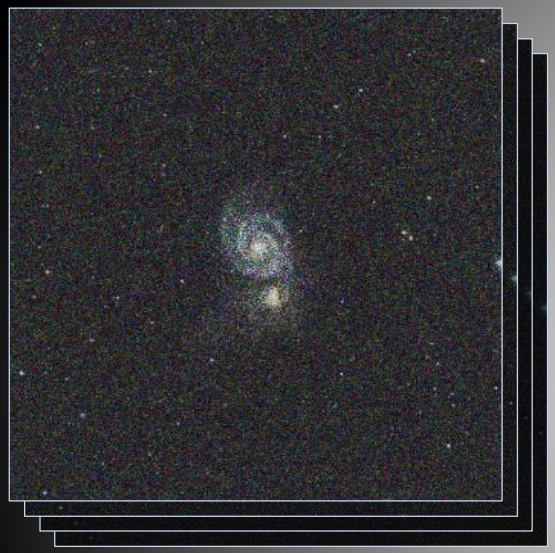
Der Unterschied zwischen einer Mittelung und einer Summation (Integration) besteht lediglich in der Division durch die Anzahl der Messungen.

Beschreibung der Integration:
Stochastisches Rauschen überlagert Nutzsignal. Es werden mehrfach Messungen durchgeführt (Rohbilder aufgenommen).
Die Standardabweichung des Rauschsignals ist bei Summation von n Messungen proportional zu $\sqrt{n}$. Das Signal ist proportional zu n.
Das SNR bezogen auf die Signalamplituden (eine übliche Konvention in der Bildverarbeitung) steigert sich um $\frac{n}{\sqrt{n}} = \sqrt{n}$.

Durch Mittelung nicht zu reduzieren sind:

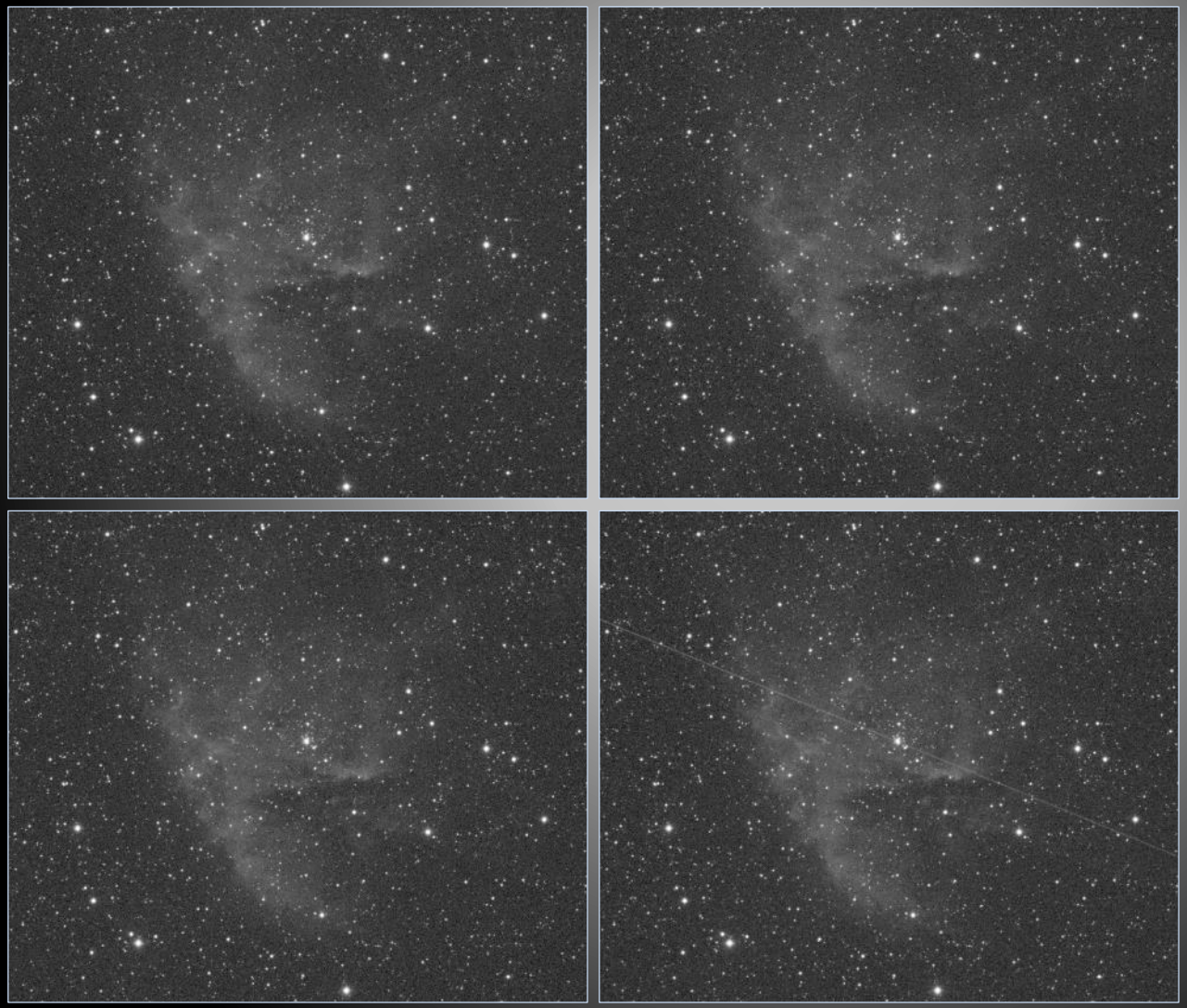
- Himmelhintergrund
- ggf. Zodiakallicht
- Streulicht

4.1 Signal to Noise Ratio
Simuliertes Beispiel



16 Kopien. Es wurde jeweils normalverteiltes Rauschen addiert.

4. Integration
4.2 Beispiel



Beispiel NGC281:

Integration von 4 Frames mit je 20min SII.

4.2.1 No rejection + average

4.2.1 No rejection + median

4.2.1 Percentile clipping + median

4.2.1 Percentile clipping + median: Verworfene Daten

NGC 281. Emissionsnebel in der Kassiopeia, ca. 9500 Lj entfernt. (IC 11, umgangssprachlich wegen seiner Ähnlichkeit mit der Videospiel-Figur als Pac-Man-Nebel bezeichnet. In NGC 281 ist der offene Sternhaufen IC 1590 eingebettet, dessen Sterne um das Zentrum des Nebels verstreut sind. Das hellste Mitglied von IC 1590, das Mehrfachsternsystem BD +55° 191 (HD 5005), ist die ionisierende Quelle des Nebels. Der Nebel enthält auch mehrere Bok-Globulen, in denen durch Infrarotaufnahmen Anzeichen für Sternentstehung festgestellt werden konnten.

Aufnahme angefertigt am 12./13./30.09.2016, Atik 383, Esprit 100 ED mit Riccardi Reducer, f = 415mm (f/4,1) auf Avalon Linear.

17 x 20min Ha	25 Darks.
12 x 20min O[II]	25 Offsets
13 x 20min S[II]	25 Flats

3 x 3 min R	25 Darks.
3 x 4 min G	25 Offsets
3 x 4 min B	25 Flats

RGB-und SHO-Verarbeitung erfolgten getrennt voneinander.
Preprocessing: Kalibration und Stacking.
Entrauschen noch im linearen Bereich. Strecken der Aufnahmen.
Zusammenfügen der SHO- und RGB-Aufnahme in Photoshop. Selektive Farbkorrektur. Schärfung bestimmter Bereiche unter Einsatz von Masken.

Preprocessing
Zusammenfassung und Bewertung

1. ….
2. ….

kai-wicker@nord-com.net